IBEM: Indice de Biodiversité des Etangs et Mares

Un outil pour l'évaluation biologique des étangs et mares

Manuel d'utilisation

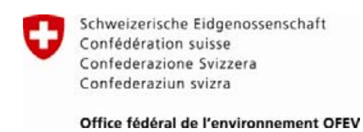
En complément au soutien électronique http://campus.hesge.ch/ibem







LABORATOIRE D'ECOLOGIE
ET DE BIOLOGIE AQUATIQUE



Auteurs:

Nicola Indermühle, Sandrine Angélibert, Beat Oertli

Ecole d'Ingénieurs HES de Lullier - EIL
150, route de Presinge
1254 Jussy

E-mail : beat.oertli@hesge.ch

Auteurs de la version précédente (PLOCH[1]) dont sont repris de nombreux éléments:

Beat Oertli, Dominique Auderset Joye, Emmanuel Castella, Raphaëlle Juge, Jean-Bernard Lachavanne

Université de Genève - Laboratoire d'Ecologie et de Biologie Aquatique (LEBA)

Collaborations :

Groupe d'Etude et de Gestion de la Grande-Cariçaie, Fondation des Grangettes, Musée Cantonal de Zoologie de Lausanne, Centre de coordination pour la protection des amphibiens et des reptiles de Suisse (KARCH), Université de Genève - Laboratoire d'écologie et biologie aquatique (LEBA), Haute Ecole de Gestion de Genève - Laboratoire des technologies de l'Information (LTI), bureaux d'études AMaibach Sarl, Aquabug, Aquarius, GREN et Natura, svu-asep – Association suisse des professionnels de l'environnement.

L'étude des 120 étangs, qui a permis l'élaboration de la méthode, a été réalisée avec le soutien de plusieurs partenaires : Office fédéral de l'environnement (OFEV), Cantons de Genève, Jura, Vaud et Lucerne, Commission de recherche du Parc National Suisse, HES-SO (RCSO RealTech). Le projet a par ailleurs bénéficié de données de la part du Centre suisse de cartographie de la faune (CSCF) et du Centre du réseau suisse de floristique (CRSF).

Plusieurs personnes ont également contribué à divers titres : Céline Antoine, Dominique Auderset Joye, Diana Cambin, Gilles Carron, Emmanuel Castella, Jessica Castella, Michaël de la Harpe, Raphaëlle Juge, Jean-Bernard Lachavanne, Anthony Lehmann, Simon Lézat, Nathalie Menetrey, Jane O'Rourke, Patrice Prunier, Corinne Pulfer, Nathalie Rimann, Véronique Rosset, Mirko Saam, Lionel Sager, Emilie Sandoz.

Citation recommandée :

Indermuehle N., Angélibert S. & Oertli B. 2008. IBEM: Indice de Biodiversité des Etangs et Mares. Manuel d'utilisation. Ecole d'Ingénieurs HES de Lullier, Genève. 33 p.

Commande :

Ce manuel d'utilisation peut être téléchargé sur la page web de la méthode IBEM :

http://campus.hesge.ch/ibem

---

[1] Oertli, B., Auderset Joye, D., Castella, E., Juge, R. & Lachavanne, J.-B. 2000. *Diversité biologique et typologie écologique des étangs et petits lacs de Suisse*. Laboratoire d'Ecologie et de Biologie aquatique de l'Université de Genève et OFEFP. 434 pp.

TABLE DES MATIÈRES

1 Introduction

1.1 Historique

Les petits plans d'eau (mares, étangs, petits lacs) hébergent une grande biodiversité (nombre d'espèces total et/ou menacées), souvent plus importante que celle des autres milieux aquatiques (rivières, fleuves, canaux, lacs ; Williams *et al.* 2003 ; Angélibert *et al.* 2006). Par leur grand nombre, estimé en Suisse à 32'000 (Oertli *et al.* 2005b), ils contribuent significativement à la conservation de la diversité biologique régionale et nationale. Relevons que ce n'est pas uniquement en Suisse que les étangs sont très abondants : au niveau mondial, Downing (Downing *et al.* 2006) estime leur nombre à 300 millions, leur conférant un rôle essentiel dans la dynamique des éléments chimiques et notamment du Carbone (= puits de Carbone ; Downing *et al.* 2008).

C'est pour ces raisons qu'un premier projet a été réalisé sur les étangs et petits lacs de Suisse par l'Université de Genève entre 1996 et 1999 (projet OFEV N° 753-BA-1113 ; Oertli *et al.* 2000). Il a permis d'effectuer pour la première fois en Suisse une évaluation globale de ces petits milieux de vie. Une méthode standardisée (dénommée "PLOCH") a alors été proposée.

Cette méthode PLOCH était toutefois présentée dans une version encore difficilement accessible aux gestionnaires (notamment à cause du coût très élevé, ou encore du niveau de détermination à l'espèce requis). C'est pourquoi, l'Ecole d'Ingénieurs HES de Lullier a élaboré entre 2005 et 2007 (projet HES-SO RealTech, N° 15399), une nouvelle méthode nommée IBEM (Indice de Biodiversité des Etangs et Mares), en collaboration avec différentes équipes de gestionnaires d'étangs et spécialistes des groupes taxonomiques. Cet indice permet d'évaluer la biodiversité d'un étang par une classe de qualité. La méthode se veut économique, facile à mettre en œuvre par des bureaux d'étude ou gestionnaires, et euro-compatible (en accord avec les principes d'évaluation de la Directive Cadre Européenne sur l'Eau (DCE 2000)).

1.2 Objectif de la méthode

La méthode IBEM permet d'évaluer globalement la biodiversité d'un petit plan d'eau (mare, étang, petit lac) et de traduire celle-ci sous forme d'un indice (classe de qualité selon la Directive Cadre Européenne sur l'Eau (DCE 2000)).

1.3 Principes

L'évaluation de la biodiversité repose sur l'échantillonnage standardisé de 5 groupes biologiques complémentaires du point de vue écologique : **la végétation aquatique, les Gastéropodes aquatiques, les Coléoptères aquatiques, les Odonates adultes** et **les Amphibiens**.

Les Amphibiens sont déterminés au niveau de l'espèce, les 4 autres groupes au niveau du genre.

L'indice est produit selon la méthodologie décrite dans la Directive Cadre Européenne sur l'Eau (DCE 2000). Il s'agit du rapport entre la biodiversité observée dans un écosystème donné et la biodiversité prédite pour le même écosystème dans un état non dégradé.

La méthode IBEM est composée de deux parties :

- l'**échantillonnage standardisée** (chapitre 2, p. 7)
- l'**évaluation biologique** (= calcul de l'indice IBEM ; chapitre 3, p. 21)

Elles ont été conçues de façon à être facilement utilisables par des professionnel-le-s de l'environnement (biologiste ou ingénieur).

1.4 Validation scientifique

Le développement de la méthode dans sa version fondamentale (nommée "PLOCH") a été finalisé par un article validé par la communauté scientifique. Il a été publié en 2005 dans le journal international *Aquatic Conservation : Marine and Freshwater Ecosystems* (Oertli *et al.* 2005a). La version appliquée "IBEM" est actuellement en préparation (Indermuehle *et al.* 2008) et sera soumise en 2008 dans un journal scientifique international. L'IBEM sera également présenté publiquement lors d'une conférence à l'occasion du 3ème workshop international de l'European Pond Conservation Network (EPCN), en mai 2008 à Valence (Espagne).

1 Introduction

1.5 Domaines d'application

- *Types de milieux aquatiques:* Petits plans d'eau (mare, étang, petit lac) d'une surface comprise entre 50 et 60'000 m^2 et d'une profondeur moyenne comprise entre 30 et 900 cm.

- *Zone géographique:* La méthode est applicable en Suisse (et dans la zone frontalière des pays voisins), dans les étages altitudinaux collinéens et montagnards.
Dans les autres zones géographiques, la partie "échantillonnage" peut être facilement adaptée. La partie "évaluation" demanderait la création d'un nouveau référentiel (basé sur les avis d'experts ou sur des données de référence).

- *Cadre légal:* L'évaluation de la biodiversité est un élément requis par la Convention sur la Diversité Biologique (CBD). En Suisse, une telle évaluation est utile dans le cadre des lois fédérales sur la protection de la nature et du paysage (LPN) et des eaux (LEaux) mais aussi dans le cadre de différentes ordonnances (Ordonnance sur la protection des sites de reproduction de batraciens d'importance nationale, Ordonnances sur les Marais et Tourbières, Ordonnance relative à l'étude de l'impact sur l'environnement, …).

1.6 Potentiels et limites

L'IBEM est un indice global d'évaluation de la biodiversité et doit donc être utilisé dans cet objectif. Il est particulièrement utile quand une standardisation est requise, par exemple à des fins de comparaisons temporelles (suivi d'un milieu) ou spatiales (comparaison de plusieurs milieux).

L'échantillonnage effectué dans le cadre de la mise en œuvre de l'IBEM permet de dresser une liste d'espèces "exhaustive" concernant les Amphibiens. En revanche, ce n'est pas le cas pour les 4 autres groupes, étant donné que la détermination est effectuée au genre. L'IBEM ne remplace donc pas les travaux d'inventaires destinés à déceler la présence des espèces rares.

Le tableau suivant résume les fins auxquelles l'indice IBEM est destiné (ou non).

l'Indice **IBEM** permet	l'Indice **IBEM** ne permet pas
l'évaluation biologique de la surface en eau	l'évaluation biologique du milieu terrestre (et palustre): ceinture palustre, ripisylve, roselières terrestres
la quantification de la dégradation du milieu	l'identification de la cause de la dégradation
l'évaluation de la richesse taxonomique (nombre total de genres pour tous les groupes sauf les amphibiens (espèces))	l'évaluation du nombre d'espèces rares/en danger (ou patrimoniales) (sauf pour les amphibiens)
l'obtention de résultats semi-quantitatifs, donc la détection des genres (ou d'espèces pour les amphibiens) dominants, représentatifs du fonctionnement du milieu	l'inventaire exhaustif des espèces (sauf pour les amphibiens)
la comparaison de différents objets dans **l'espace** (région, pays)	
la comparaison du même objet dans le **temps** (monitoring)	
	La définition de mesures de gestion/conservation pour les espèces rares

1 Introduction

1.7 Coût de la mise en œuvre de la méthode

Le coût de la mise en œuvre de la méthode sur un étang est relativement modeste, de l'ordre de grandeur de la mise en œuvre d'un indice biotique annuel sur une station de rivière (4 IBGN ou macroindex). L'investissement pour l'évaluation d'un étang de 5000 m^2, s'élève à environ 50 heures de travail (Tableau 1).

1.8 Support WEB

Un site internet a été créé avec comme objectif de faciliter la mise en œuvre de la méthode (http://campus.hesge.ch/ibem). Il présente la méthode, avec des supports visuels (photos, films), différents documents téléchargeables ainsi que des FAQ (questions fréquentes au sujet de la méthode). Le calcul de la note IBEM peut être directement effectué sur ce site.

1.9 Applications et développements

Cet outil a déjà été testé pour l'évaluation de la biodiversité d'environ 120 plans d'eau de Suisse, dans la majorité des Cantons (base de données des étangs compilée à l'occasion du projet OFEV (Oertli *et al.* 2000) et d'une dizaine de projets postérieurs).
La méthode a également servi de base à plusieurs programmes d'évaluations de la biodiversité des mares et étangs, notamment le monitoring débuté en 2004 de 30 étangs du Parc National Suisse (Cirque de Macun, Indermuehle & Oertli 2007 ; Oertli *et al.* 2008) et l'évaluation entre 2007 et 2010 de la biodiversité de 100 étangs piscicoles de la Dombes (Wezel 2007). Des développements sont également en cours pour tester l'application de la méthode à l'évaluation de la biodiversité du littoral lacustre (Aeschlimann 2008).
A l'échelle européenne enfin, des réseaux de gestionnaires ont démontré un grand intérêt pour la méthode. En conséquence, d'autres applications pratiques devraient prochainement voir le jour.

Tableau 1 Estimation de l'investissement en heures pour l'évaluation d'un étang de 5000 m^2 à l'aide de la méthode l'IBEM. Relevons que les chiffres présentés ici représentent un ordre de grandeur à titre indicatif. L'investissement réel peut être plus faible ou plus élevé en fonction de la diversité biologique du milieu.

		Heures
Relevés des caractéristiques de l'étang		1
Végétation (39 quadrats)	Relevés terrain	11
	Déterminations	3
	Saisie et traitement données	1.75
Macrofaune (13 prélèvements)	Relevés terrain	2.5
	Tri	9
	Détermination Coléoptères + Gastéropodes	6
	Saisie, traitement de données	2.5
Odonates	Relevés terrain	3
	Saisie et traitement données	1.75
Amphibiens	Terrain selon protocole KARCH (4 sorties et déplacements)	7
Déplacements	Voyage (flore+macrofaune, odonates)	2
Evaluation du milieu		0.5
TOTAL		**51**

2 Méthode standardisée d’échantillonnage IBEM

2.1 Introduction

2.1.1 Groupes taxonomiques

L’IBEM prend en compte la diversité biologique de cinq groupes taxonomiques :

- la Végétation aquatique
- les Gastéropodes aquatiques
- les Coléoptères aquatiques
- les Odonates adultes
- les Amphibiens

Niveaux taxonomiques requis

Les Amphibiens sont déterminés au niveau de l’espèce, les 4 autres groupes au niveau du genre.

Afin de palier aux problèmes liés aux changements dans la systématique (par ex. nouveaux genres ou regroupement de taxons), des tables de référence (liste des genres/espèces) accompagnent la méthode (voir les paragraphes consacrés aux 5 groupes biologiques ci-dessous).

Pour garantir la pertinence de l’évaluation de la diversité biologique, seuls les taxa collectés par l’échantillonnage standardisé peuvent être pris en considération; les taxa récoltés par d’autres moyens ne participent pas au calcul de l'Indice de Biodiversité IBEM.

2.1.2 Périmètre d’étude

Végétation aquatique, Coléoptères et Gastéropodes

Le périmètre d’étude se limite à la surface en eau. D’éventuels milieux annexes, non connectés à l’étang, n’en font pas partie. Ces milieux annexes sont, dans le cadre d'une évaluation à l'aide de l'IBEM, considérés en tant que systèmes indépendants et ne doivent pas être échantillonnés.

Odonates

Le périmètre d’étude se limite à la surface en eau, en incluant en plus une ceinture terrestre d’environ 3 m de large.

Amphibiens

Le site global humide (y compris ornières, gouilles, roselière aquatique, etc. situées à proximité de l’étang et dont la connectivité avec ce dernier n’est pas interrompue par un obstacle) doit être pris en considération (si l’étang figure dans l'inventaire fédéral des sites de reproduction de batraciens d'importance nationale (IBN), choisir le périmètre de l’objet IBN). Ceci est impossible pour les étangs faisant partie d’un grand complexe (par ex. la Grande-Cariçaie (NE) ou les Grangettes (VD)). Dans ce cas de figure, les gestionnaires choisiront librement un périmètre en fonction de leurs connaissances du milieu.

2.1.3 Nombre de campagnes de terrain et planification

Le tableau ci-dessous présente la planification des campagnes de terrain nécessaires à l'échantillonnage standardisé IBEM.

<table>
<tr><th></th><th colspan="2">février</th><th colspan="2">mars</th><th colspan="2">avril</th><th colspan="2">mai</th><th colspan="2">juin</th><th colspan="2">juillet</th><th colspan="2">août</th><th>nb. de campagnes</th></tr>
<tr><td>Végétation aquatique</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td>X</td><td></td><td></td><td></td><td>1</td></tr>
<tr><td>Gastéropodes et Coléoptères</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td>X</td><td></td><td></td><td></td><td>1</td></tr>
<tr><td>Odonates adultes</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td colspan="2">X</td><td></td><td></td><td colspan="2">X</td><td></td><td>2</td></tr>
<tr><td>Amphibiens</td><td></td><td></td><td colspan="2">X</td><td colspan="2">X</td><td colspan="2">X</td><td colspan="2">X</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td>4</td></tr>
</table>

2 Méthode standardisée d'échantillonnage IBEM

2.2 Végétation aquatique

2.2.1 Niveau taxonomique requis

Le niveau taxonomique requis pour la végétation aquatique est le genre.

2.2.2 Plantes prises en considération

- Sont relevées uniquement les plantes aquatiques présentes dans les quadrats de végétation (Fig. 1) et appartenant aux genres indiqués sur la Planche 1 (Annexe 1).

- Les plantes listées (Planche 1, Annexe 1) sont les hydrophytes vasculaires (Spermatophytes et Ptéridophytes) aquatiques (espèces ayant un indice d'humidité de Landolt (Landolt 1977) de "5", complétées par 22 espèces classées "4"[2]) incluant également le groupe des Characeae. Les Bryophytes ne sont pas prises en compte.

- Le groupe des Characeae est considéré comme un seul taxon.

- Les plantes non aquatiques, même si elles sont présentes dans les relevés, ne sont pas prises en considération et sont à écarter de la liste finale utilisée pour l'estimation de la richesse totale du plan d'eau.

2.2.3 Période d'échantillonnage

Une seule campagne d'échantillonnage est effectuée début juillet.

2.2.4 Matériel

Quadrats de végétation de 0.25 m^2 (50cm x 50cm, Fig. 1)

Barre graduée, double mètre ou échosondeur

Eventuellement un grappin (Fig. 3), un rateau ou un aquascope

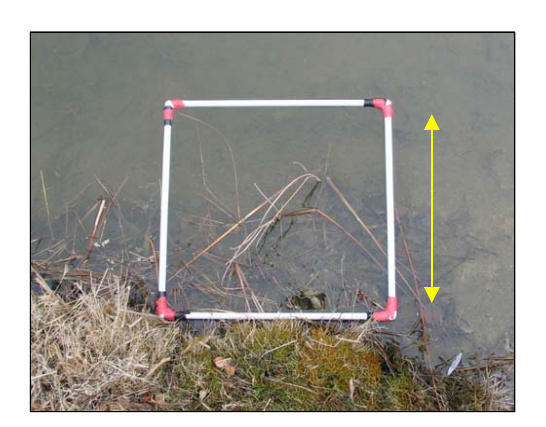
2.2.5 Méthode d'échantillonnage

- Réaliser des relevés dans des quadrats (50 cm x 50 cm, Fig. 1) équidistants sur des transects parallèles placés à intervalles réguliers sur toute la surface du plan d'eau, à l'exception des zones où la profondeur dépasse 300 cm. L'espacement entre transects peut être adapté en fonction de la forme et de la surface du plan d'eau, afin de distribuer les quadrats de façon homogène sur tout le plan d'eau (Fig. 2, *Exemples de transects*).

- Les quadrats "vides" sont considérés au même titre que ceux contenant de la végétation.

- Chaque transect inclut systématiquement, à ses deux extrémités, un quadrat d'interface eau-terre.

- Les quadrats d'interface eau-terre sont plaqués contre la rive, recouvrant alors uniquement le milieu aquatique (Fig. 1).



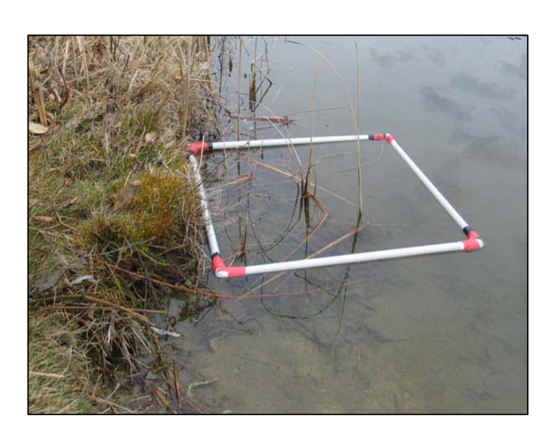


Figure 1 Quadrat de végétation (ici: position interface eau-terre)

[2] *Agrostis stolonifera* L., *Carex canescens* L., *Carex flava* L., *Carex lepidocarpa* Tausch, *Carex nigra* (L.) Reichard, *Eleocharis acicularis* (L.) Roem. & Schult., *Eleocharis quinqueflora* (Hartmann) O. Schwarz, *Equisetum palustre* L., *Galium palustre* L., *Juncus conglomeratus* L., *Juncus effusus* L., *Juncus articulatus* L., *Juncus filiformis* L., *Juncus inflexus* L., *Lysimachia nummularia* L., *Lythrum salicaria* L., *Lysimachia vulgaris* L., *Mentha longifolia* (L.) Huds., *Myosotis scorpioides* L., *Ranunculus repens* L., *Rorippa palustris* (L.) Besser, *Scirpus sylvaticus* L.

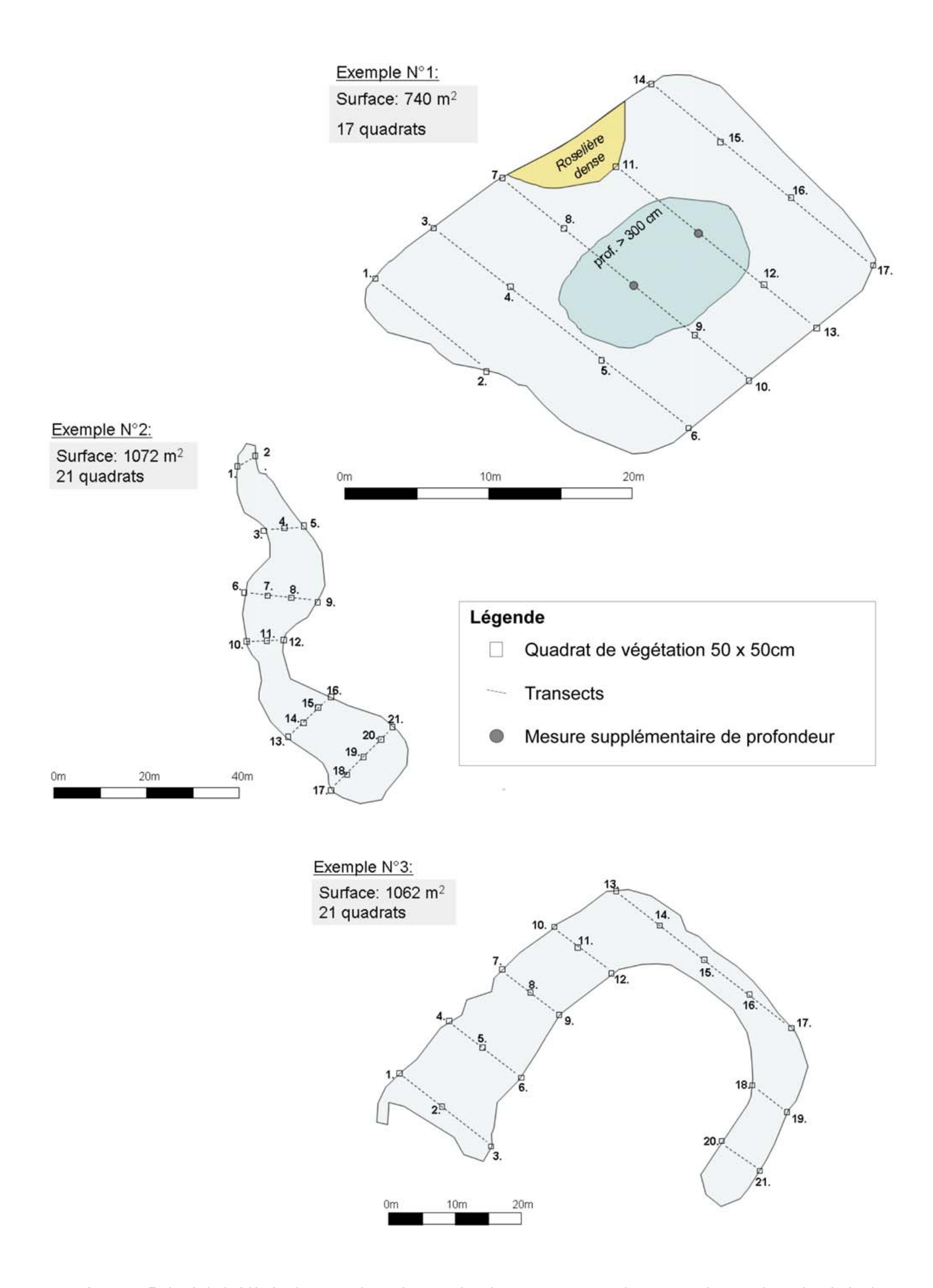


Figure 2 Relevé de la Végétation aquatique: 3 exemples de transects et emplacements des quadrats de végétation

- En cas de fluctuations du niveau d'eau (niveau supérieur ou inférieur à la "normale"), les quadrats seront placés à l'interface eau-terre "normale". L'emplacement des espèces végétales aquatiques ou terrestres peut aider à la localisation de l'interface "normale" : identifier la limite à partir des espèces palustres (ex : *Mentha* sp. est généralement située à l'interface terre-eau, mais avec les pieds hors de l'eau ; idem pour *Veronica beccabunga*)

- En présence de roselière ou de cariçaie très dense et impénétrable pour l'échantillonneur, les quadrats sont placés sur le front de celles-ci (sans pénétrer dans la formation végétale), sur la surface d'eau libre (Fig. 2 - Exemple 1 et Fig. 3).

- Les quadrats doivent impérativement être placés de manière aléatoire et non dirigée par l'observateur. Par exemple, il faut éviter de déplacer intentionnellement un quadrat pour inclure un taxon "intéressant".

- Les quadrats sont posés sur la surface de l'eau. Les plantes submergées peuvent être remontées à la surface l'aide d'un grappin (Fig. 4) ou un râteau, ou observées à travers un aquascope.

- Relever la présence des genres aquatiques dans chaque quadrat. L'IBEM requiert uniquement l'information sous la forme présence/absence. Aucune information n'est requise quant à l'abondance et au recouvrement.

- Relever la profondeur de l'eau dans chaque quadrat. La profondeur de l'eau est définie par la hauteur de la colonne d'eau au dessus de la couche de vase. Matériel utilisé : échosondeur, barre graduée ou mire (sans l'enfoncer dans la vase).

2.2.6 Nombre d'échantillons

- Nombre d'échantillons : le nombre de quadrats de végétation à prospecter (n) dépend de la surface (A en m^2) du plan d'eau. Il peut être calculé de deux manières:

i) en se référant directement au tableau sur la Fiche synthétique *Végétation aquatique* (Fig. 5).

ii) en employant la formule suivante:
$n = 30 – 29.1 * \log_{10}(A) + 8.6 * (\log_{10}(A))^2$

Ce nombre permet de recenser en moyenne 70% des genres présents dans le plan d'eau.



Figure 3 Quadrat de végétation interface en front de roselière très dense



Figure 4 Grappin en métal (hauteur 15 cm)

Fiche synthétique



1 Déterminer le nombre de quadrats

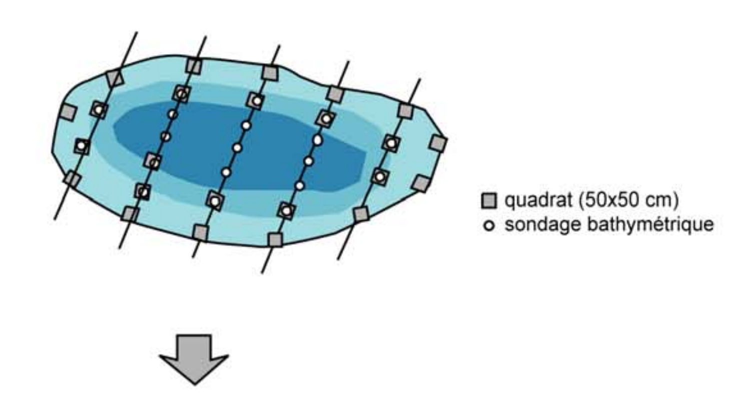
(en fonction de la surface du plan d'eau (en m²), cf. tableau)

Surface (m²)	Nombre de quadrats (n)
50 - 70	5
71 - 120	6
121 - 160	7
161 - 210	8
211 - 250	9
251 - 300	10
301 - 360	11
361 - 420	12
421 - 480	13
481 - 550	14
551 - 630	15
631 - 710	16
711 - 790	17
791 - 880	18
881 - 980	19
981 - 1000	20
1001 - 1200	21
1201 - 1300	22
1301 - 1400	23
1401 - 1600	24
1601 - 1700	25
1701 - 1900	26
1901 - 2000	27
2001 - 2200	28
2201 - 2400	29
2401 - 2600	30
2601 - 2800	31
2801 - 3000	32
3001 - 3300	33
3301 - 3500	34
3501 - 3800	35
3801 - 4100	36
4101 - 4400	37
4401 - 4700	38
4701 - 5000	39
5001 - 5400	40
5401 - 5700	41
5701 - 6100	42
6101 - 6500	43
6501 - 7000	44
7001 - 7400	45
7401 - 7900	46
7901- 8400	47
8401 - 8900	48
8901 - 9400	49
9401 - 10000	50



2 Répartir les quadrats (50x50 cm)

- en transects parallèles
- équidistants
- profondeur < 3m



3 Collecter les données (1x début juillet)

- présence/absence de chaque genre par quadrat
- sondage bathymétrique le long des transects (cf. plan)
- si nécessaire, collecte de spécimens à déterminer

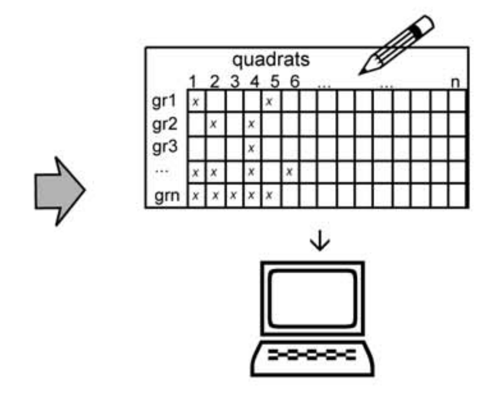


Figure 5 Echantillonnage de la Végétation aquatique: fiche synthétique

2.3 Coléoptères et Gastéropodes aquatiques

2.3.1 Niveau taxonomique requis

Le niveau taxonomique requis pour les Coléoptères et Gastéropodes aquatiques est le genre.

2.3.2 Taxa pris en considération

- Seuls les genres aquatiques sont pris en compte dans l'évaluation IBEM. La liste de ceux-ci figure sur les Planches 2 et 3 (Annexes 2 et 3).

- Coléoptères : les adultes *et* les larves sont échantillonnées

- Gastéropodes : seules les coquilles pleines sont retenues pour l'évaluation IBEM

2.3.3 Période d'échantillonnage

Une seule campagne d'échantillonnage est effectuée début juillet. Suggestion: effectuer cette campagne *après* la campagne concernant la végétation. Cette chronologie facilitera la cartographie des habitats propices aux invertébrés.

2.3.4 Matériel

Une épuisette standardisée (Fig. 6 ; fiche technique voir Annexe 6), ouverture rectangulaire de 10 cm sur 14 cm, vide de maille inférieur ou égal à 0.5 mm, manche de 1.8 m (dimensions facilitant l'échantillonnage dans les herbiers).

Alcool isopropylique 70%

Tri matériel vivant: Bac de tri (p. ex bacs blancs pour développement photos (30 x 40 cm)), pinces, cuillère en plastique, tubes (p. ex. piluliers), étiquettes

Tri au laboratoire: récipients pour transporter les échantillons (type tupperware), tamis 0.5 mm pour rinçage des échantillons



Figure 6 Filet de prélèvement IBEM

2.3.5 Méthode d'échantillonnage

- Pour un échantillon élémentaire, effectuer avec l'épuisette des mouvements de va-et-vient énergiques et rapides dans toutes les dimensions spatiales de l'habitat durant 30 secondes.

→ Des séquences vidéo didactiques illustrant la technique des prélèvements peuvent être visionnées sur le site web de la méthode IBEM (http://campus.hesge.ch/ibem)

- Le volume du matériel brut récolté dans l'échantillon ne doit pas dépasser un litre.

- Afin d'éviter l'obstruction du filet, veiller à échantillonner l'eau et la matière mise en suspension et non directement le substrat.

- La zone à échantillonner ne doit pas être perturbée (onde, ombre) avant la prospection (fuite des Coléoptères adultes).

2.3.6 Nombre d'échantillons et habitats à échantillonner

- Nombre d'échantillons : le nombre de prélèvements (n) à effectuer dépend de la surface (A en m^2) du plan d'eau. Il peut être calculé de deux manières:

i) en se référant directement au tableau sur la fiche synthétique *Invertébrés aquatiques* (Fig. 7).

ii) en employant la formule suivante:
$n = 15.5 - 10.5 * \log_{10}(A) + 2.7 * (\log_{10}(A))^2$

Ce nombre permet en moyenne de réunir 90% des genres de Gastéropodes et 70% des genres de Coléoptères.

- La liste des habitats est présentée dans le Tableau 2. Elle comprend tous les habitats situés dans la zone de profondeur inférieure à 2 mètres, à l'exception toutefois des sédiments fins et des algues (sauf le groupe des Characées). Une cartographie simplifiée des habitats ayant un recouvrement supérieur à 1% (par rapport à la superficie totale couverte par les habitats à échantillonner) doit précéder l'échantillonnage afin de déterminer leurs taux de recouvrement respectifs (cf. illustration sur la fiche synthétique *Invertébrés aquatiques*, Fig.7).

- Les prélèvements sont réalisés uniquement dans les habitats cartographiés (ayant donc un recouvrement supérieur à 1%). Les 2/3 des "n" échantillons sont à placer au niveau des interfaces eau-terre (catégorie 4 du Tableau 2), alors que le 1/3 restant est à distribuer dans les autres catégories (catégories 1 à 3).

- Les échantillons seront distribués proportionnellement au recouvrement de chaque habitat, l'habitat dominant bénéficiant ainsi d'un nombre d'échantillons plus grand que les autres habitats. Relevons que l'échantillonnage appliqué ici est de type "aléatoire stratifié".

Cas particuliers : Quelques situations délicates peuvent se présenter :

- Il reste un seul prélèvement à attribuer, alors que 2 habitats présentent le même recouvrement: choisir la catégorie située au plus haut du Tableau 2. Ainsi, les hydrophytes (1) sont préférés aux hélophytes (2), les plantes submergées (1.1) aux plantes à feuilles flottantes (1.2), *etc.*

- Le nombre d'habitats recensés est plus important que celui de prélèvements à effectuer. Dans ce cas, regrouper d'abord les habitats des divisions inférieures, puis des plus élevées (Tableau 2; ex. : regrouper 2.4.2 et 2.4.1: ce prélèvement mixte sera constitué par la prospection des 2 habitats à raison de 15 sec. chacun).

- Un des habitats recensés est réparti en plusieurs "patchs" plutôt que de couvrir une surface d'un seul tenant. Répartir ici l'effort de prospection total (30 sec.) dans les différents patchs (ex.: explorer une roselière située au sud pendant 15 sec puis compléter par 15 sec de prospection dans une roselière située au nord).

2.3.7 *Tri du matériel et détermination*

Le tri sur le terrain (sur le matériel vivant) est habituellement deux fois plus rapide que le tri en laboratoire (sur du matériel conservé ; alcool ou formol), et il sera donc préféré. Pour ce faire, le prélèvement est versé dans un bac blanc (bac pour bain de développement photographique), et les Coléoptères (larves et adultes) et les Gastéropodes (coquilles pleines) sont séparés à vue (des séquences vidéo didactiques illustrant le tri sur le terrain peuvent être visionnées sur le site web de la méthode IBEM (http://campus.hesge.ch/ibem). Un temps maximum de 45 minutes est consacré au tri d'un échantillon. Pour chaque prélèvement, les Coléoptères et les Gastéropodes sont conservés séparément dans des récipients contenant de l'alcool isopropylique 70%.

Si toutefois il n'est pas possible d'effectuer le tri directement sur le terrain, fixer les échantillons entiers par adjonction d'alcool isopropylique, jusqu'à obtention d'une concentration de 70% en vue de leur conservation. En laboratoire, trier les échantillons à vue ou avec une loupe sur un fond blanc, et séparer les Coléoptères (larves et adultes) et les Gastéropodes (coquilles pleines). Un temps maximum de 2 heures est consacré au tri d'un échantillon fixé. Pour chaque prélèvement, les Coléoptères et les Gastéropodes sont conservés séparément dans des récipients contenant de l'alcool isopropylique 70%.

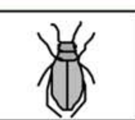
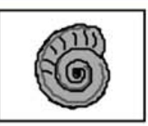
Il est également envisageable de conserver les échantillons dans une glacière puis au réfrigérateur pendant une nuit pour effectuer le tri à vue sur matériel vivant le lendemain (délai impératif).

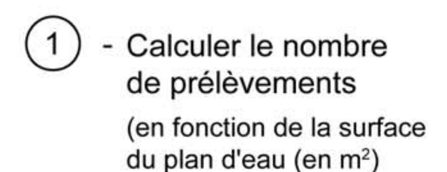
Déterminer chaque animal au niveau du genre, notamment avec les clés de Hausser (2005) et Gloër & Meier-Brook (1998) pour les Gastéropodes et de Tachet *et al.* (2000), Richoux (1982), Friday (1988)[3] et Vondel & Dettner (1997) pour les Coléoptères Hydradéphages.

Relever la présence des genres aquatiques dans chacun des échantillons élémentaires. L'IBEM requiert uniquement l'information sous la forme présence/absence dans chaque échantillon. Aucune information n'est requise quant à l'abondance.

Methode IBEM — Invertébrés aquatiques

Fiche synthétique

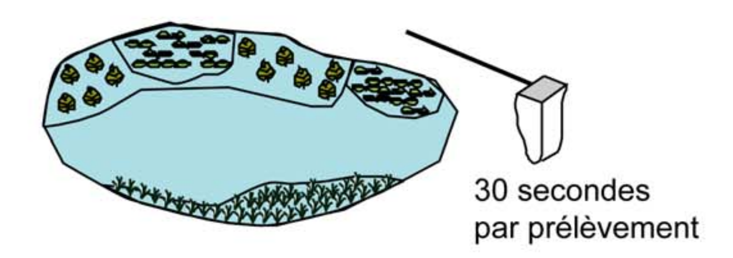


1 - Calculer le nombre de prélèvements
(en fonction de la surface du plan d'eau (en m²)

Surface (m²)	Nombre de prélèvements (n)
50 - 170	5
171 - 400	6
401 - 700	7
701 - 1100	8
1101 - 1600	9
1601 - 2200	10
2201 - 2900	11
2901 - 3900	12
3901 - 5000	13
5001 - 6400	14
6401 - 8000	15
8001 - 10000	16
10001 - 12000	17
12001 - 14000	18
14001 - 18000	19
18001 - 21000	20
21001 - 25000	21
25001 - 30000	22
30001 - 36000	23
36001 - 42000	24
42001 - 50000	25
50001 - 58000	26
58001 - 60000	27

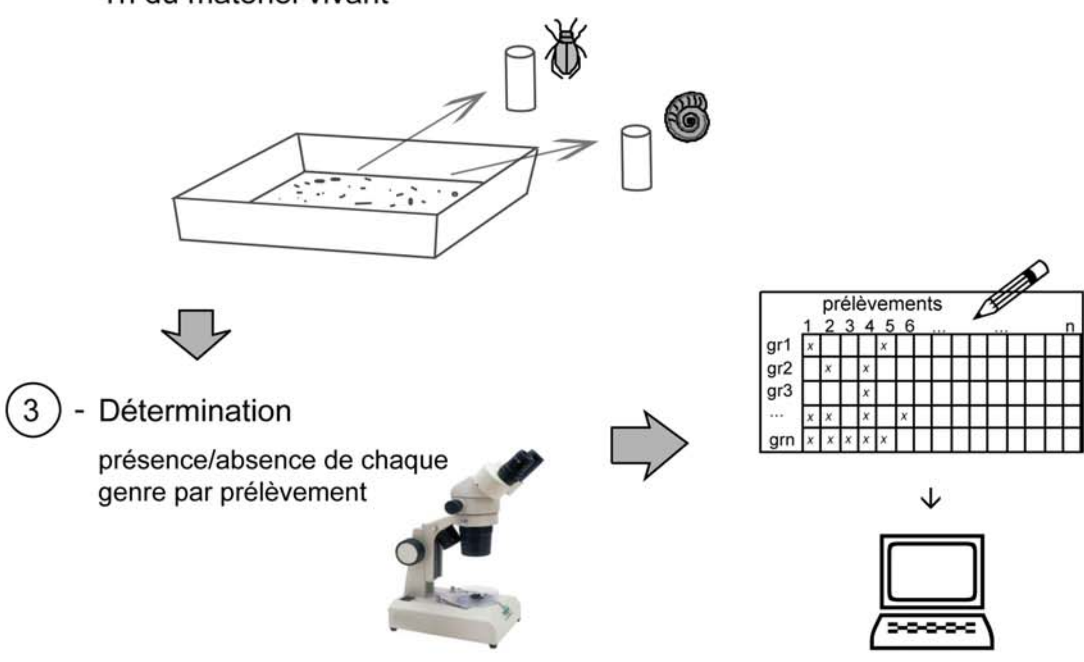


2 - Cartographier les principaux habitats (profondeur < 2m)
- Effectuer les n prélèvements (1 x, début juillet)



30 secondes par prélèvement

- Tri du matériel vivant



3 - Détermination
présence/absence de chaque genre par prélèvement

Figure 7 Echantillonnage des Coléoptères et Gastéropodes aquatique: fiche synthétique

Tableau 2 Principaux types d'habitats propices aux Gastéropodes et Coléoptères. Ne sont pas pris en compte: les sédiments profonds, les algues filamenteuses et les habitats dont le recouvrement est < à 1 %. Classification (type biologique, morphologie) de la végétation adaptée en partie de Montegut (1987).

HABITAT
1. Hydrophytes
1.1.1.1. Submergés à **feuilles laciniées** (Myriophylles, Utriculaires, Cératophylles, Renoncules, ...)
1.1.1.2. Submergés à **feuilles filiformes** *(Potamogeton pusillus, P. pectinatus, Zanichellia palustris)*
1.1.2.1. Submergés à **grandes feuilles peu découpées** (Sagittaire, *Potamogeton crispus*, *P. lucens*, *P. perfoliatus*)
1.1.2.2. Submergés à **petites feuilles non découpées** (Elodée)
1.1.3. Characées
1.2.1. A **feuilles flottantes** (Nénuphars, *Trappa nattans*, *Hydrocharis* sp., *Potamogeton natans, Polygonum amphibium, …*)
1.2.2. A **petites feuilles flottantes** (*Lemna* sp.)
1.3. Mousses
1.4. Autres Hydrophytes (*Menyanthes trifoliata*., …) : . . . .
2. Hélophytes
2.1. Roselières inondées (*Glyceria maxima*, *Phragmites australis*, *Phalaris* sp., *Typha* sp.)
2.2. Grands scirpes *(Scirpus lacustris, ...)*
2.3. Cariçaies inondées
2.4.1. *Alisma* sp., *Equisetum* sp., ...
2.4.2. *Eleocharis* sp., "petits" Scirpes ou Joncs palustres
2.5. Autres Hélophytes : . . . .
3. Habitats autres que Hydro- / Hélophytes
3.1. Accumulation de feuilles mortes
3.2.1. Substrat minéral meuble (sable, graviers)
3.2.2. Substrat minéral solide (cailloux, bloc, ...)
3.3. Autres : . . . .
4. Interfaces eau-terre
4.1. Petits Hélophytes (*Carex* sp., *Eleocharis* sp., …)
4.2. Racines
4.3. Talus terreux
4.4. Substrat minéral
4.5. CPOM* (feuilles mortes, débris de macrophytes, …)
4.6. Grands Hélophytes (*Phragmites australis*, *Phalaris* sp., *Typha* sp., …)
4.7. Autres interfaces

* CPOM : Coarse Particulate Organic Matter (particules de matière organique de grande taille)

2.4 Odonates adultes

2.4.1 Niveau taxonomique requis

Le niveau taxonomique requis pour les Odonates est le genre.

2.4.2 Taxa pris en considération

Les taxa pris en considération sont listés dans la Planche 4 (Annexe 4). Les taxa lotiques (habitants des rivières ; p.ex *Calopteryx* ou *Cordulegaster*) ont été écartés de cette liste.

2.4.3 Période d'échantillonnage

Deux campagnes d'échantillonnage sont à réaliser. Le choix des dates se fait en fonction de l'altitude du plan d'eau à prospecter (Fig. 8).

1ère campagne: mi-mai à mi juin

2ème campagne: mi-juillet à mi août

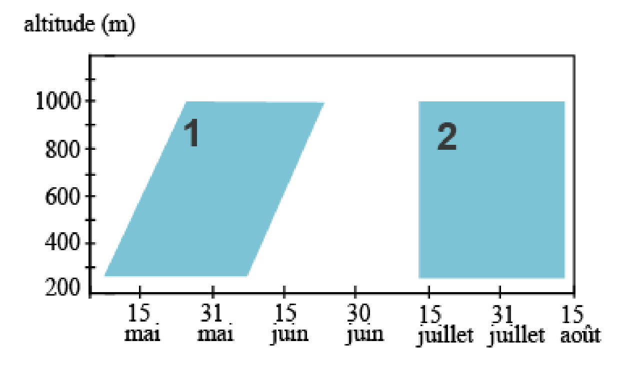


Figure 8 Planification des deux campagnes de terrain pour l'observation d'Odonates adultes en fonction de l'altitude (1 : première campagne ; 2 : deuxième campagne).

Effectuer les observations uniquement par temps ensoleillé et peu venteux, avec une température comprise entre 20 et 30°C (approximativement entre 11h30 et 16h). Eviter les journées succédant directement à une période pluvieuse.

2.4.4 Matériel

Filet à papillon, jumelles, loupe (10x)

2.4.5 Méthode d'échantillonnage

- Les Odonates adultes sont échantillonnés par une stratégie reposant sur l'observation directe des individus dans des secteurs situés le long des rives des plans d'eau (Fig. 9), selon la méthode présentée par Oertli et al. (2000) et appliquée par Godreau *et al*. (1999) et Oertli (1994).

- L'étude porte exclusivement sur les stades adultes (matures et immatures) des Odonates.

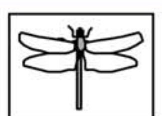
- Identifier tous les individus visibles à l'intérieur ou à proximité immédiate de chaque secteur. Déterminer les Odonates adultes au genre, soit par reconnaissance directe aux jumelles, soit après capture, puis libération des individus une fois l'identification accomplie (clés de détermination ou descriptions de: Wendler & Nüss, 1994; Maibach, 1989; Askew, 1988; Jurzitza, 1993, Dijkstra 2006).

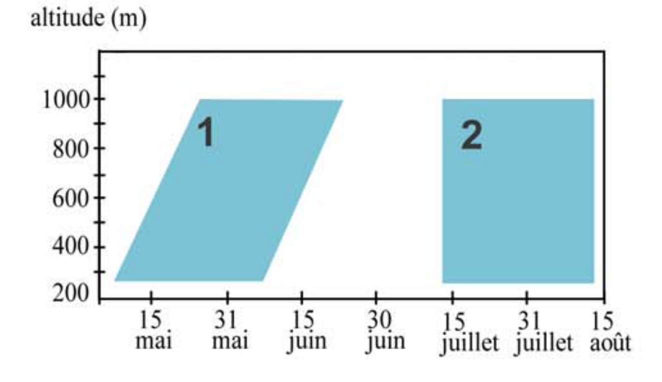
- Les genres observés sur les parties non explorées des rives ne sont pas pris en compte dans les calculs de la richesse.

- Relever la présence des genres dans chaque secteur. L'IBEM requiert uniquement l'information sous la forme présence/absence dans chaque secteur. Aucune information n'est requise quant à l'abondance. Compiler les observations dans un tableau, en prenant soin de conserver séparées les données observées dans chaque secteur lors des 2 campagnes.

Methode IBEM — Odonates adultes

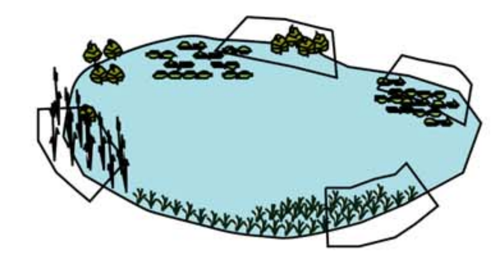
Fiche synthétique





1 - Choisir les dates des 2 campagnes (en fonction de l'altitude)

2 - Délimiter des secteurs (30 m x 10 m, nombre minimum 3) le long du tiers de la longueur des rives incluant les principaux habitats





3 - Pour chacune des 2 campagnes: Observation (et evtl. capture puis libération des Odonates) en conditions météorologiques favorables (entre 11h30 et 16h00; temps ensoleillé, peu de vent; T >20° et < 30°; éviter une journée succédant à une période pluvieuse)

10 minutes par secteur (temps de capture et détermination déduit)

4 - Compilation des données des 2 campagnes = présence de chaque genre par secteur et par campagne (estimation de l'abondance facultative)

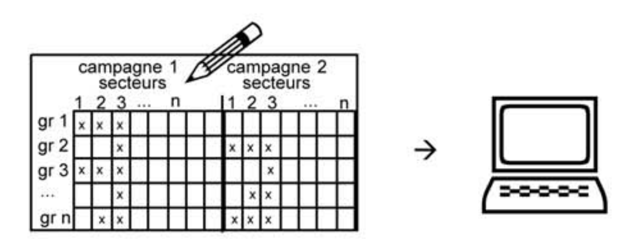


Figure 9 Echantillonnage des Odonates adultes: fiche synthétique

2.4.6 Nombre de secteurs à prospecter et habitats à échantillonner

- Principe global : exploration d'un tiers de la longueur des rives du plan d'eau, en intégrant la plus grande diversité d'habitats possible.

- Sélectionner au minimum trois secteurs de 30 m x 10 m le long des rives, à cheval sur les principaux habitats de façon à en inclure toute la diversité[4] (Fig. 10).

Les plans d'eau de circonférence inférieure à 270 m sont donc prospectés sur plus du tiers de la longueur des rives.

- Consacrer 10 minutes à l'exploration de chaque secteur (temps de capture et de détermination déduits).

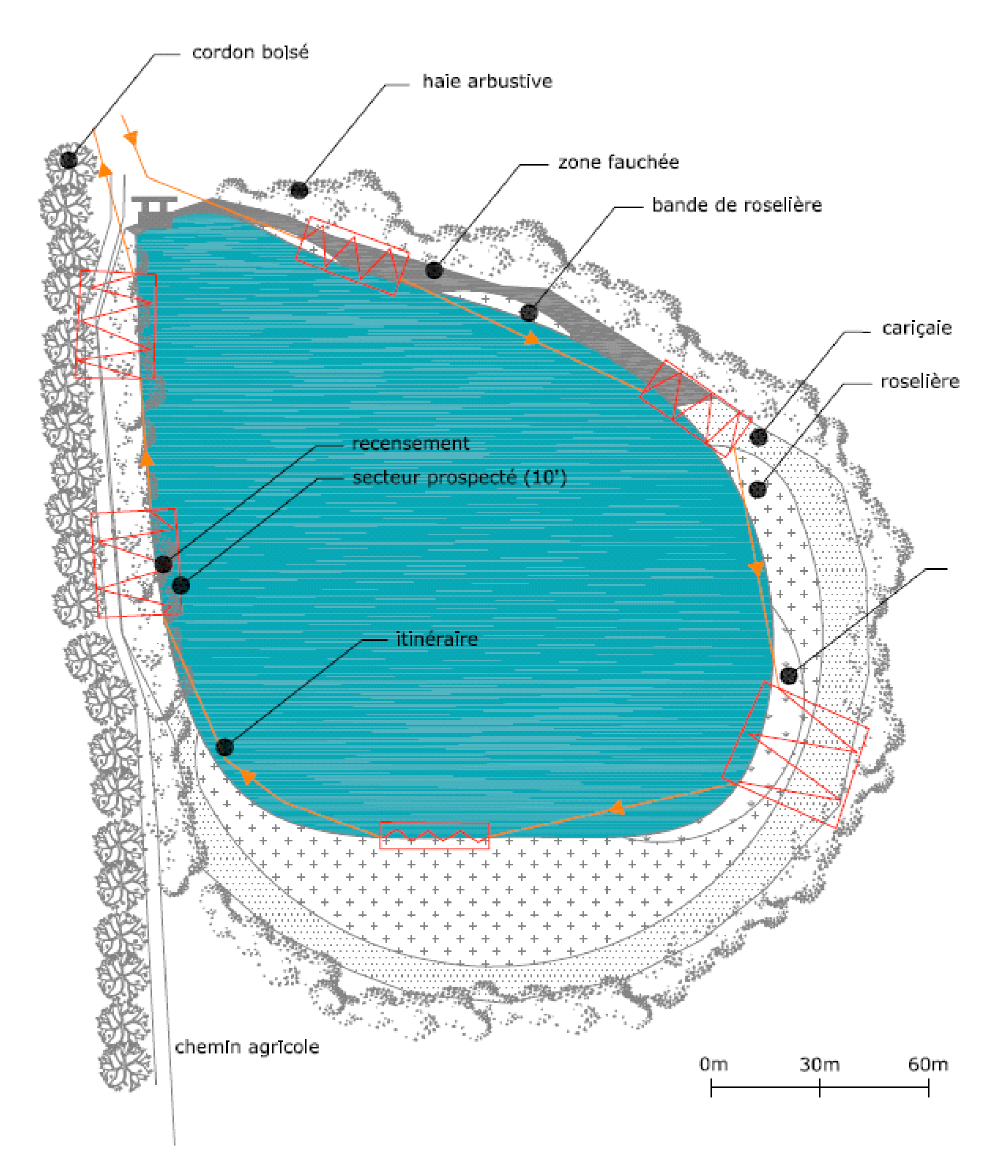


Figure 10 Échantillonnage des Odonates adultes : Exemple de localisation des secteurs à échantillonner et du cheminement à parcourir lors des prospections.

[4] la forme des secteurs peut être adaptée par le gestionnaire si nécessaire. Par exemple, la largeur de 10 m peut être agrandie vers l'intérieur du plan d'eau (dans le cas où certaines espèces ne voleraient que dans le centre de l'étang).

2.5 Amphibiens

2.5.1 Taxa pris en considération

Les taxa pris en considération sont ceux listés sur la Planche 5 (Annexe 5).

Les deux espèces *Rana esculenta* et *R. lessonae* sont réunies dans le complexe "grenouille verte".

2.5.2 Niveaux taxonomiques requis

Le niveau taxonomique requis pour les Amphibiens est **l’espèce**.

2.5.3 Nombre de campagnes d'échantillonnage et période d'échantillonnage

Quatre campagnes d’échantillonnage sont à réaliser, à savoir une visite lors de chacun des mois de mars, avril, mai et juin. La première visite doit se dérouler de nuit, les autres visites se déroulent en début de nuit.

Les dates sont à adapter en fonction de la phénologie des espèces. Elles seront déterminées de manière à ce que la majorité des individus d’une espèce soient présents. En d’autres termes, une visite ne doit être effectuée que lorsque les espèces peuvent vraiment être observées. Exemple: la première visite d’un étang devra survenir après la fonte de la neige, lorsque la moitié environ des grenouilles rousses a pondu. Il ne doit pas être visité trop tôt, alors que les premières grenouilles rousses sont seulement en train d’y parvenir. La date de la visite doit être déterminée de manière à pouvoir accomplir au mieux les travaux demandés.

2.5.4 Matériel

Lampe frontale, filoche

2.5.5 Conditions météorologiques pour les relevés

Les nuits douces, sans vent ni pluie seront préférées. On évitera les visites par temps frais et venteux ou en période de sec prolongé.

2.5.6 Méthode d'échantillonnage

- Parcourir l’objet dans son intégralité, si possible (voir paragraphe 2.1.2 *Périmètre d’étude*, p. 7), pour observer toutes les espèces. **Durée: 1 heure**.
- On relève les espèces présentes.
- En principe, toutes les méthodes d’observation sont admises. Indépendamment des espèces attendues, les trois méthodes suivantes seront appliquées systématiquement:

  • Recherche nocturne à la lampe de poche (adultes, subadultes, larves), depuis le bord de l’étang

  • Ecoute des adultes chanteurs

  • Pêche à la filoche (adultes, subadultes, larves)

  Les salamandres seront également recherchées sur les sites où elles sont signalées.

- Il est souhaitable, mais pas nécessaire à l'évaluation IBEM, d'indiquer le nombre d'individus observés, ainsi que de relever les informations météorologiques suivantes:
  (1) Température à la nuit tombante
  (2) Précipitations le jour du relevé (oui/non)
  (3) Vent (oui/non)

- Compiler les observations dans un tableau et transmettre les données au KARCH (Centre de coordination pour la protection des amphibiens et des reptiles de Suisse ; www.karch.ch)

NB : Les indications pour le travail de terrain ont été proposées par le KARCH et sont tirées des Directives pour le travail de terrain concernant l’actualisation de la liste rouge (Schmidt 2004).

2.6 Variables environnementales

Six paramètres sont à mesurer pour le calcul de l'indice IBEM. Ces paramètres influencent la biodiversité, et servent à estimer la richesse du milieu dans un état de référence, non dégradé.

Une fiche de relevé de terrain figure dans l'Annexe 7.

- **Surface du plan d'eau**
  A mesurer sur un dessin sur papier millimétré, une photographie aérienne ou avec un logiciel de cartographie (par exemple Canvas ou ArcView). Les guichets cartographiques de nombreux cantons suisses permettent également une mesure de surface *online*.
  Unité: m^2

- **Profondeur moyenne**
  Calcul de la moyenne des profondeurs relevées dans les quadrats le long des transects de végétation (en excluant les quadrats placés à l'interface eau-terre).
  Unité: cm

  Cas particulier d'un étang ayant des zones d'une profondeur supérieure à 300 cm :
  Si, par définition (voir chapitre *Végétation aquatique* p. 8), aucun quadrat de végétation n'est placé dans les zones où la profondeur dépasse 300 cm, il ne va pas de même pour les mesures de profondeur. En effet, des points de mesure supplémentaires doivent être placés dans ces zones profondes le long des transects, afin de pouvoir correctement évaluer la profondeur moyenne du plan d'eau étudié.

- **Développement des rives**

$$D = L/(2*\sqrt{(\pi * S)})$$

D= développement des rives
L = longueur des rives (en m)
π = 3.1416
S = surface du plan d'eau (en m^2)

- **Ombrage du plan d'eau**
  Projection verticale de l'ombre portée par la végétation ligneuse, relevée sur le terrain et décrit en 4 classes.
  Classe 1: (0%)
  Classe 2: (> 0 - 5%)
  Classe 3: (> 5 - 25%)
  Classe 4: (> 25 - 100%)

- **Environnement forêts 50m (%)**
  Occupation des sols par les forêts dans un rayon de 50m autour de l'étang, exprimée en %.

- **Altitude du plan d'eau**
  Unité: m

3 Méthode de calcul de l'IBEM

3.1 Introduction

L'évaluation d'un plan d'eau par la méthode IBEM se base sur la comparaison de la richesse taxonomique réelle mesurée (S_{true}) avec la richesse taxonomique prédite (S_{ref}) par un modèle (prédiction du potentiel maximal du plan d'eau). Le ratio S_{true} / S_{ref} est transformé en cinq classes de qualité, en accord avec la Directive européenne sur l'eau (DCE 2000): **mauvais** (0 à 0.2), **médiocre** (>0.2 à 0.4), **moyen** (>0.4 à 0.6), **bon** (>0.6 à 0.8) et **très bon** (>0.8). Chacun des cinq groupes biologiques est évalué et la moyenne des cinq valeurs indiquera la classe de qualité globale du plan d'eau.

Résumé des étapes nécessaires au calcul de l'IBEM

1. Acquisition des données de terrain par l'échantillonnage standardisé
2. Calcul de la richesse taxonomique réelle mesurée S_{true} à l'aide de l'estimateur Jackknife (un fichier Excel pour le calcul de cette richesse réelle est téléchargeable sur le site http://campus.hesge.ch/ibem).
3. Calcul de l'index IBEM à l'aide de l'interface utilisateur (le calcul peut se faire directement sur le site http://campus.hesge.ch/ibem, ou à l'aide d'un fichier téléchargeable sur le même site).

3.2 Calcul de la richesse réelle (S_{true})

La richesse taxonomique réelle S_{true} est calculée à l'aide de l'estimateur Jackknife-1 (Burnham & Overton 1979), un estimateur non-paramétrique permettant de compenser le biais inhérent à un échantillonnage non exhaustif. S_{true} peut être calculé à l'aide d'un ficher Excel, téléchargeable sur le site web de la méthode IBEM, mais aussi à l'aide des deux logiciels gratuits suivants : *EstimateS* (http://viceroy.eeb.uconn.edu/EstimateS) et *ws2m* (http://eebweb.arizona.edu/diversity). Les données de base à introduire dans ces logiciels sont les richesses observées sur le terrain.

S_{true} doit être calculée pour la Végétation aquatique, les Gastéropodes, les Coléoptères et les Odonates. L'échantillonnage des Amphibiens est considéré comme exhaustif.

Pour ce groupe, la richesse réelle est alors égale à celle observée sur le terrain.

3.3 Calcul de la valeur de référence (S_{ref})

Le modèle prédictif de S_{ref}, élaboré à l'aide des GAM (Modèles Additifs Généralisés), se base sur la relation entre les variables environnementales et la richesse taxonomique des cinq groupes concernés. En analysant les données d'environ soixante[5] étangs de l'étage collinéen et montagnard (< 1000 m alt), 12 variables prédictives ont été retenues (Tabl. 3).

Tableau 3 Synthèse des variables retenues pour les modèles prédictifs des 5 groupes biologiques.

Variables retenues	à mesurer par le/la gestionnaire	Végétation	Coléoptères	Gastéropodes	Odonates	Amphibiens
Surface (m2)	X	√		√	√	√
Profondeur moyenne (cm)	X	√				√
Développement des rives	X		√			
Ombrage étang (classe)	X				√	
Environnement forêts 50m (%)	X	√				
Altitude (m)	X			√	√	
Poissons (classe)			√			√
Recouvrement par la végétation flottante (%)				√		
Recouvrement par la végétation submergée (%)			√	√	√	
Conductivité hiver (µS)		√				
Transparence été (cm)		√		√		
Trophie (classe)			√			√

[5] Végétation : 59 étangs ; Gastéropodes et Coléoptères : 60 étangs ; Odonates : 55 étangs ; Amphibiens : 58 étangs

Une interface utilisateur (Fig. 11) permet alors de calculer le nombre potentiel de taxa du plan d'eau (= S_{ref}), en simulant un bon état écologique. Pour ce faire, les variables prédictives pouvant refléter une dégradation du milieu (trophie, conductibilité, transparence, % végétation submergée et flottante, poissons) sont ramenées à leur valeur optimale pour maximiser la richesse de chacun des 5 groupes biologiques évalués. Les autres variables (altitude, surface, profondeur moyenne, développement rive, ombrage étang, environnement forêt), indépendantes d'une éventuelle dégradation du milieu, prennent les valeurs effectivement mesurées sur le terrain par le/la gestionnaire.

3.4 Calcul de l'indice IBEM

Le calcul de l'indice IBEM par l'interface utilisateur se fait soit directement online sur le site http://campus.hesge.ch/ibem (Fig. 11), ou alors à l'aide du fichier Excel («calcul_IBEM_v1_0.xls ») téléchargeable sur le même site.
Un mode d'emploi pour l'utilisation de l'interface utilisateur y est également à disposition.

CALCUL DE L'INDICE: SAISIE DES DONNÉES

Nom/n° de l'étang:

Remarques:

Variables environnementales pour l'étang étudié.

	Surface	Prof. moyenne	Envir. forêts	Développ. rives	Ombrage étang	Altitude
Unité	[m 2]	[cm]	%	-	classe	[m]
Valeur min	50	30	0	1	1	300
Valeur max	60000	900	100	2	4	1000
Etang étudié	60000	900	100	2	4	1000

Richesses réelles pour l'étang étudié.

Niveau taxonomique	Genre	Genre	Genre	Genre	Espèce
Prise en compte du groupe (oui/non)*	Oui	Oui	Oui	Oui	Oui
Richesse réelle mesurée					

*Il est nécessaire de prendre en compte les 5 groupes pour une évaluation correcte des milieux.

Zone biogéographique (n°) de l'étang étudié.

Numéro de la zone: 2

1	Jura
2	Plateau
3	Versant nord des Alpes
4	Alpes centrales occidentales
5	Alpes centrales orientales
6	Versant sud des Alpes
0	Hors Suisse

Calculer | Ré-initialiser

Figure 11 Interface utilisateur pour le calcul (online) de l'indice IBEM (http://campus.hesge.ch/ibem). L'activation de la touche "Calculer" déclenche le calcul automatique de S_{ref} puis de l'IBEM.

4 Bibliographie

Aeschlimann, C. 2008. Test d'application d'une nouvelle méthode d'échantillonnage des macroinvertébrés du littoral lacustre : Adaptation de la méthode PLOCH sur 2 sites du petit-lac (Léman), Travail de diplôme de l'Ecole d'Ingénieurs de Lullier, Genève.

Angélibert, S., Indermuehle, N., Luchier, D., Oertli, B. & Perfetta, J. 2006. Where hides the aquatic biodiversity in the Canton of Geneva (Switzerland)? Archives des Sciences 59: 225-234.

Askew, R. R. 1988. *The dragonflies of Europe.* Colchester, Essex: Harley Books. 291 pp.

Burnham, K. P. & Overton W. S. 1979. Robust estimation of population size when capture probabilities vary among animals. *Ecology, 60*: 927-936.

DCE. 2000. Directive Cadre Européenne sur l'Eau. Directive 2000/60/EC du parlement européen, Journal Officiel de la Communauté Européenne L 327.

Dijkstra, K-DB., 2006. Field Guide to the Dragonflies of Britain and Europe, British Wildlife Publishing, Gillingham, UK.

Downing, J.A., Cole, J.J., Middelburg, J.J., Striegl, R.G., Duarte, C.M., Kortelainen, P., Prairie, Y.T. & Laube K.A. 2008. Sediment organic carbon burial in agriculturally eutrophic impoundments over the last century. Global Biogeochemical Cycles, in press.

Downing, J.A., Prairie, Y.T., Cole, J.J., Duarte, C.M., Tranvik, L.J., Striegl, R.G., McDowell, W.H., Kortelainen, P., Caraco, N.F., Melack, J.M. & Middelburg, J.J. 2006. The global abundance and size distribution of lakes, ponds, and impoundments. Limnology and Oceanography 51, 2388-2397.

Friday, L. E. 1988. *A key to the adults of British water beetles*. Cambridge: Field Studies no 7. 151 pp.

Gloër, P. & Meier-Brook C. 1998. *Süsswassermollusken*: Deutscher Jugendbund für Naturbeobachtung. 136 pp.

Godreau, V., Bornette, G., Frochot, B., Amoros, C., Castella, E., Oertli, B., Chambaud, F., Oberti D. & Craney, E. 1999. Biodiversity in the floodplain of Saône: a global approach. *Biodiversity and Conservation* **8**: 839-864.

Hausser, J. 2005. Clé de détermination des Gastéropodes de Suisse / Bestimmungsschlüssel der Gastropoden der Schweiz. *Fauna Helvetica 10*. Centre suisse de cartographie de la Faune & Schweizerische Entomologische Gesellschaft.

Indermuehle, N. & Oertli, B. 2007. Mise en place d'un monitoring de la biodiversité des étangs du cirque de Macun (Parc National Suisse): les macroinvertébrés aquatiques. Nationalpark-Forschung in der Schweiz 94: 173-182.

Indermuehle, N., Angélibert, S. & Oertli, B. 2008. Un nouvel outil pour l'évaluation biologique des mares et des étangs: l'IBEM (Indice de Biodiversité des Etangs et Mares). en préparation.

Jurzitza, G. 1993. *Libellules d'Europe Europe centrale et méridionale*. Lausanne: Delachaux and Niestlé. 191 pp.

Landolt, E. 1977. Ökologische Zeigerwerte zur Schweizer Flora. *Veröffentl. Geobot. Inst. ETH, Stift. Rübel* **64**, 208 pp.

Maibach, A. 1989. Clé de détermination illustrée des libellules (Odonates) de Suisse et des régions limitrophes. *Bulletin Romand d'Entomologie* **7**, 31-68.

Montegut, J. 1987. Les plantes aquatiques - Tome 1: Milieu aquatique et flore - Tome II: Clé de détermination - Tome III: Planches et Indice - Tome IV: Entretien et Désherbage. Paris: ACTA.

Oertli, B. 1994. La plaine inondable de la Saône: les Odonates adultes. LEBA / Université de Genève. 28 pp.

Oertli, B., Auderset Joye, D., Castella, E., Juge, R. & Lachavanne, J.-B. 2000. *Diversité biologique et typologie écologique des étangs et petits lacs de Suisse*. Laboratoire d'Ecologie et de Biologie aquatique de l'Université de Genève et OFEFP. 434 pp.

Oertli, B., Auderset Joye, D., Castella, E., Juge, R., Lehmann, A. & Lachavanne, J.-B. 2005a. PLOCH: a standardised method for sampling and assessing the biodiversity in ponds. *Aquatic Conservation* 15 (6): 665-679.

Oertli, B., Auderset Joye, D., Juge, R. & Lachavanne, J.-B. 2002. *Prédiction du potentiel de diversité biologique des étangs du Canton de Genève.* Détection des hot-spots. Laboratoire d'Ecologie et de Biologie aquatique de l'Université de Genève. 304 pp.

Oertli, B., Biggs, J., Céréghino, R., Grillas, P., Joly, P. & Lachavanne, J-B. 2005b. Conservation and monitoring of pond biodiversity: introduction. Aquatic Conservation 15, 535-540.

Oertli, B., Indermuehle, N., Angélibert, S., Hinden, H. & Stoll, A. 2008. Macroinvertebrate assemblages in 25 high alpine ponds of the Swiss National Park (Cirque of Macun) and relation to environmental variables. Hydrobiologia 597: 29-41.

Richoux, P. 1982. *Coléoptères aquatiques*. Bull. mensuel de la Soc. Limn. de Lyon.

Schmidt, B. 2004. Actualisation de la Liste Rouge des amphibiens 2002 – 2005, Directives pour le travail de terrain, Directives révisées pour 2004

Tachet, H., Richoux, P., Bournaud, M. & Usseglio-Polatera, P. 2000. *Invertébrés d'eau douce. Systématique, biologie, écologie*. CNRS Editions.

Vondel, v., B. & Dettner, K. 1997. *Insecta: Coleoptera: Haliplidae, Noteridae, Hygrobiidae*. *Süsswasserfauna von Mitteleuropa* **20**, 147 pp.

Wendler, A. & Nüss, J.-H. 1994. *Libellules - Guide d'identification des libellules de France, d'Europe septentrionale et centrale*. Bois-d'Arcy, France: Société Française d'Odonatologie. 129 pp.

Wezel, A.C. 2007. Influence des pratiques agropiscicoles sur la biodiversité des étangs de la Dombes (Ain, France) en vue d'une valorisation de produits du terroir. ISARA, Ecole d'Ingénieurs de Lyon.

Williams, P., Whitfield, M, Biggs J., Bray, S., Fox, G., Nicolet, P. & Sear, D. 2003. Comparative biodiversity of rivers, streams, ditches and ponds in an agricultural landscape in Southern England. Biol. Conservation 115, 329-341.

5 Annexes

Liste des Annexes

Annexe 1

Planche 1a Végétation: Liste des genres "aquatiques" retenus pour le calcul de l'IBEM.

Les genres précédés d'un astérisque* regroupent des espèces aquatiques *et* terrestres ; ils sont pris en compte uniquement s'ils sont représentés par une espèce aquatique → détails de ces espèces aquatiques voir *Planche 1b*

Genre
Acorus
Aldrovanda
Alisma
*Alnus
*Alopecurus
*Anagallis
*Apium
*Arabis
Baldellia
Berula
*Betula
*Bidens
Bolboschoenus
Butomus
Caldesia
Calla
Callitriche
Caltha
*Cardamine
*Carex
Catabrosa
Characeae #
Ceratophyllum
Chrysosplenium
Cicuta
Cladium
*Cochlearia
*Cyperus
*Dactylorhiza
Damasonium
Drosera
*Dryopteris
Elatine
*Eleocharis
Elodea
*Epilobium
*Equisetum
*Eriophorum
*Fimbristylis
*Galium
Glyceria

Genre
Gratiola
Groenlandia
Hammarbya
Hippuris
Hottonia
Hydrocharis
Hydrocotyle
*Iris
Isoëtes
*Juncus
Lagarosiphon
*Lathyrus
Leersia
Lemna
Limosella
Lindernia
Liparis
Littorella
Ludwigia
Lycopodiella
Lycopus
*Lysimachia
Marsilea
*Mentha
Menyanthes
Mimulus
*Minuartia
Montia
*Myosotis
Myriophyllum
Najas
Nasturtium
Nuphar
Nymphaea
Nymphoides
Oenanthe
*Orchis
*Pedicularis
*Peucedanum
*Phalaris

Genre
Phragmites
Pilularia
*Poa
*Polygonum
Pontederia
Potamogeton
*Potentilla
*Ranunculus
Rhynchospora
*Rorippa
*Rumex
Sagittaria
*Salix
Salvinia
Sarracenia
Saururus
*Saxifraga
Scheuchzeria
Schoenoplectus
*Scrophularia
*Scutellaria
*Senecio
Sium
*Sonchus
Sparganium
Spirodela
Stratiotes
*Taraxacum
*Teucrium
Thelypteris
Trapa
*Trichophorum
*Typha
Utricularia
*Vaccinium
*Valeriana
Vallisneria
*Veronica
*Viola
Zannichellia

la famille des Characeae est considérée comme un seul taxon

Planche 1b Végétation: liste des genres regroupant des espèces aquatiques *et* terrestres (en parenthèses: nombre d'espèces terrestres).

Pour le calcul de l'indice IBEM ces genres sont pris en compte uniquement s'ils sont représentés par les espèces aquatiques listées ci-dessous.

Genre	Espèce aquatique
Alnus (3)	*A. glutinosa*
Alopecurus (5)	*A. aequalis*
Anagallis (3)	*A. tenella*
Apium (1)	*A. inundatum*
	A. nodiflorum
	A. repens
Arabis (14)	*A. subcoriacea*
Betula (2)	*B. humilis*
	B. nana
Bidens (1)	*B. cernua*
	B. connata
	B. frondosa
	B. radiata
	B. tripartita
Cardamine (17)	*C. amara*
	C. asarifolia
	C. palustris
Carex (74)	*C. acutiformis*
	C. appropinquata
	C. bohemica
	C. buxbaumii
	C. canescens
	C. cespitosa
	C. chordorrhiza
	C. davalliana
	C. diandra
	C. disticha
	C. elata
	C. elongata
	C. flava
	C. frigida
	C. heleonastes
	C. juncella
	C. lasiocarpa
	C. lepidocarpa
	C. limosa
	C. nigra
	C. norvegica
	C. paniculata
	C. paupercula
	C. pseudocyperus
	C. pulicaris
	C. riparia
	C. rostrata
	C. vesicaria
	C. vulpina
	C. vulpinoidea
Cochlearia (1)	*C. pyrenaica*
Cyperus (8)	*C. michelianus*
	C. longus
Dactylorhiza (2)	*D. cruenta*
	D. fistulosa
	D. incarnata
	D. traunsteineri
Dryopteris (7)	*D. cristata*
Eleocharis (1)	*E. acicularis*
	E. atropurpurea
	E. austriaca
	E. carniolica
	E. mamillata
	E. palustris
	E.quinqueflora
	E.uniglumis
Epilobium (16)	*E. alsinifolium*
	E. nutans
	E. palustre
Equisetum (7)	*Equisetum fluviatile*
	Equisetum palustre
Eriophorum (1)	*E. angustifolium*
	E. gracile
	E. latifolium
	E. scheuchzeri
Fimbristylis (1)	*F. annua*

Genre	Espèce aquatique
Galium (35)	*G. elongatum*
	G. palustre
Iris (9)	*I. pseudacorus*
Juncus (19)	*J. articulatus*
	J. bulbosus
	J. conglomeratus
	J. effusus
	J. filiformis
	J. inflexus
	J. stygius
Lathyrus (21)	*L. palustris*
Lysimachia (2)	*L: nummularia*
	L. thyrsiflora
	L. vulgaris
Mentha (4)	*M. aquatica*
	M. longifolia
Minuartia (17)	*M. stricta*
Myosotis (8)	*M. cespitosa*
	M. rehsteineri
	M. scorpioides
Orchis (12)	*O. laxiflora*
	O. palustris
Pedicularis (17)	*P. palustris*
Peucedanum (12)	*P. palustre*
Phalaris (1)	*P. arundinacea*
Poa (20)	*P. palustris*
Polygonum (16)	*P. amphibium*
Potentilla (36)	*P. palustris*
Ranunculus (35)	*R. aquatilis*
	R. baudotii
	R. circinatus
	R. flammula
	R. fluitans
	R. hederaceus
	R. lingua
	R. ophioglossifolius
	R. peltatus
	R. repens
	R. reptans
	R. rionii
	R. trichophyllus
Rorippa (4)	*R. amphibia*
	R. islandica
	R. palustris
Rumex (21)	*R. hydrolapathum*
Salix (32)	*S. aurita*
	S. cinerea
Saxifraga (44)	*S. stellaris*
Scrophularia (4)	*S. auriculata*
	S. umbrosa
Scutellaria (2)	*S. galericulata*
	S. hastifolia
	S. minor
Senecio (23)	*S. paludosus*
	S. subalpinus
Sonchus (5)	*S. palustris*
Taraxacum (8)	*T. palustre* aggr.
Teucrium (5)	*T. scordium*
Trichophorum (2)	*T. alpinum*
Typha (1)	*T. angustifolia*
	T. latifolia
	T. shuttleworthii
Vaccinium (3)	*V. macrocarpon*
	V. microcarpum
	V. oxycoccos
	V. uliginosum
Valeriana (13)	*V. repens*
Veronica (34)	*V. anagallis-aquatica*
	V. anagalloides
	V. beccabunga
	V. catenata
	V. scutellata
Viola (30)	*V. palustris*

Annexe 2

Planche 2 Gastéropodes aquatiques: Liste des genres retenus pour le calcul de l'IBEM

Genre retenu (pour l'IBEM)	**Espèce**
Acroloxus	*lacustris*
	fluviatilis
Anisus	*leucostoma*
	spirorbis
	vortex
	vorticulus
Aplexa	*hypnorum*
Bathyomphalus	*contortus*
Bithiospeum	*alpinum*
+	*diaphanum*
	rhenanum
Bithynia	*leachii*
	pupoïdes
	schmidtii
	tentaculata
Ferrissia	*wautieri*
Galba	*truncatula*
Gyraulus	*acronicus*
	albus
	crista
	laevis
	parvus
	rossmaessleri
Hippeutis	*complanatus*
Lymnaea	*stagnalis*
Marstoniopsis	*insubrica*
Oxylona	*elegans*
Physa	*fontinalis*
Physella	*acuta*
	heterostropha
Planorbarius	*corneus*
Planorbis	*carinatus*
	planorbis
Potamopyrgus	*antipodarium*
Pseudosuccinea	*columella*
Radix	*ampla*
	auricularia
	ovata
	peregra
Segmentina	*nitida*
Stagnicola	*corvus*
	fuscus
Succinea	*putris*
	oblonga

Genre retenu (pour l'IBEM)	**Espèce**
Theodoxus	*fluviatilis*
Valvata	*cristata*
	macrostoma
	piscinalis
Viviparus	*ater*
	contectus

Annexe 3

Planche 3 Coléoptères aquatiques: Liste des genres retenus pour le calcul de l'IBEM.

Genre retenu (pour l'IBEM)	**Synonyme**
Acilius	
Agabus	
Anacaena	
Aulonogyrus	
Berosus	
Bidessus	
Chaetarthria	
Coelostoma	
Colymbetes	
Crenitis	
Cybister	
Cymbiodyta	
Cyphon	
Dactylosternum	
Deronectes	
Dryops	
Dytiscus	
Elmis	
Elodes	
Enochrus	
Esolus	
Eubria	
Georissus	
Graphoderus	
Graptodytes	
Gyrinus	
Haliplus	
Helochares	
Helophorus	
Hydaticus	
Hydraena	
Hydrobius	
Hydrochara	
Hydrochus	
Hydrocyphon	
Hydroglyphus	Guignotus
Hydrophilus	Hydrous
Hydroporus	
Hydrovatus	
Hygrobia	
Hygrotus	
Hyphydrus	
Ilybius	
Laccobius	
Laccophilus	

Genre retenu (pour l'IBEM)	**Synonyme**
Limnebius	
Limnius	
Limnoxenus	
Liopterus	Copelatus
Macronychus	
Megasternum	
Microcara	
Nebrioporus	
Normandia	
Noterus	
Ochthebius	
Orechtochilus	
Oreodytes	
Oulimnius	
Paracymus	
Peltodytes	
Platambus	
Pomatinus	Helichus
Porhydrus	
Prionocyphon	
Rhantus	
Rhithrodytes	
Riolus	
Scarodytes	
Scirtes	
Spercheus	
Sphaerius	Microsporus
Stenelmis	
Stictonectes	
Stictotarsus	
Suphrodytes	*Hydroporus dorsalis*
Yola	

Annexe 4

Planche 4 Odonates: Liste des genres retenus pour le calcul de l'IBEM. Les taxa lotiques ont été écartés

Genre retenu (pour l'IBEM)	**Espèce**	**Synonyme**
Aeshna	*affinis*	
	caerulea	
	cayanea	
	grandis	
	isoceles	*Anaciaeschna isoceles*
	juncea	
	mixta	
	subarctica	
Anax	*ephippiger*	*Hemianax ephippiger*
	imperator	
	parthenope	
Brachytron	*pratense*	
Cercion	*lindenii*	*Erythromma lindenii*
Ceriagrion	*tenellum*	
Coenagrion	*hastulatum*	
	lunulatum	
	mercuriale	
	ornatum	
	puella	
	pulchellum	
	scitulum	
Cordulia	*aenea*	
Crocothemis	*erythraea*	
Enallagma	*cyathigerum*	
Epitheca	*bimaculata*	
Erythromma	*najas*	
	viridulum	
Gomphus	*pulchellus*	
Ischnura	*elegans*	
	pumilio	
Lestes	*babarus*	
	dryas	
	sponsa	
	virens	
	viridis	*Chalcolestes viridis*
Leucorrhinia	*albifrons*	
	caudalis	
	dubia	
	pectoralis	
	rubicunda	
Libellula	*depressa*	*Ladona depressa, Platetrum depressa*
	fulva	*Ladona fulva*
	quadrimaculata	
Nehalennia	*speciosa*	

Genre retenu (pour l'IBEM)	**Espèce**	**Synonyme**
Orthetrum	*albistylum*	
	brunneum	
	cancellatum	
	coerulescens	
Platycnemis	*pennipes*	
Pyrrhosoma	*nymphula*	
Somatochlora	*alpestris*	
	arctica	
	flavomaculata	
	metallica	
Sympecma	*fusca*	
	paedisca	
Sympetrum	*danae*	
	depressiusculum	
	flaveolum	
	fonscolombii	
	meridionale	
	pedemontanum	
	sanguineum	
	striolatum	
	vulgatum	

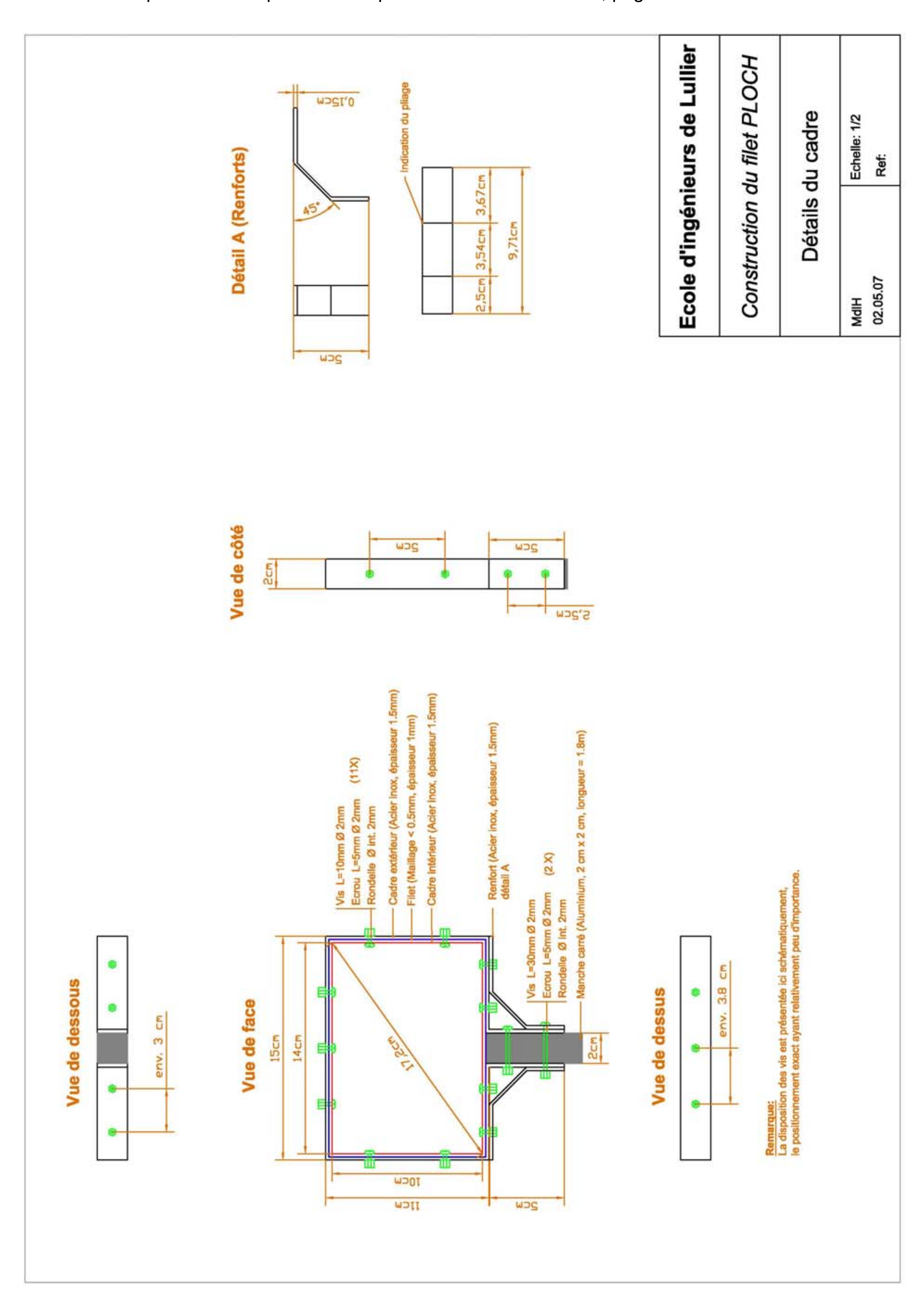
Annexe 5

Planche 5 Amphibiens: Liste des espèces retenues pour le calcul de l'IBEM.

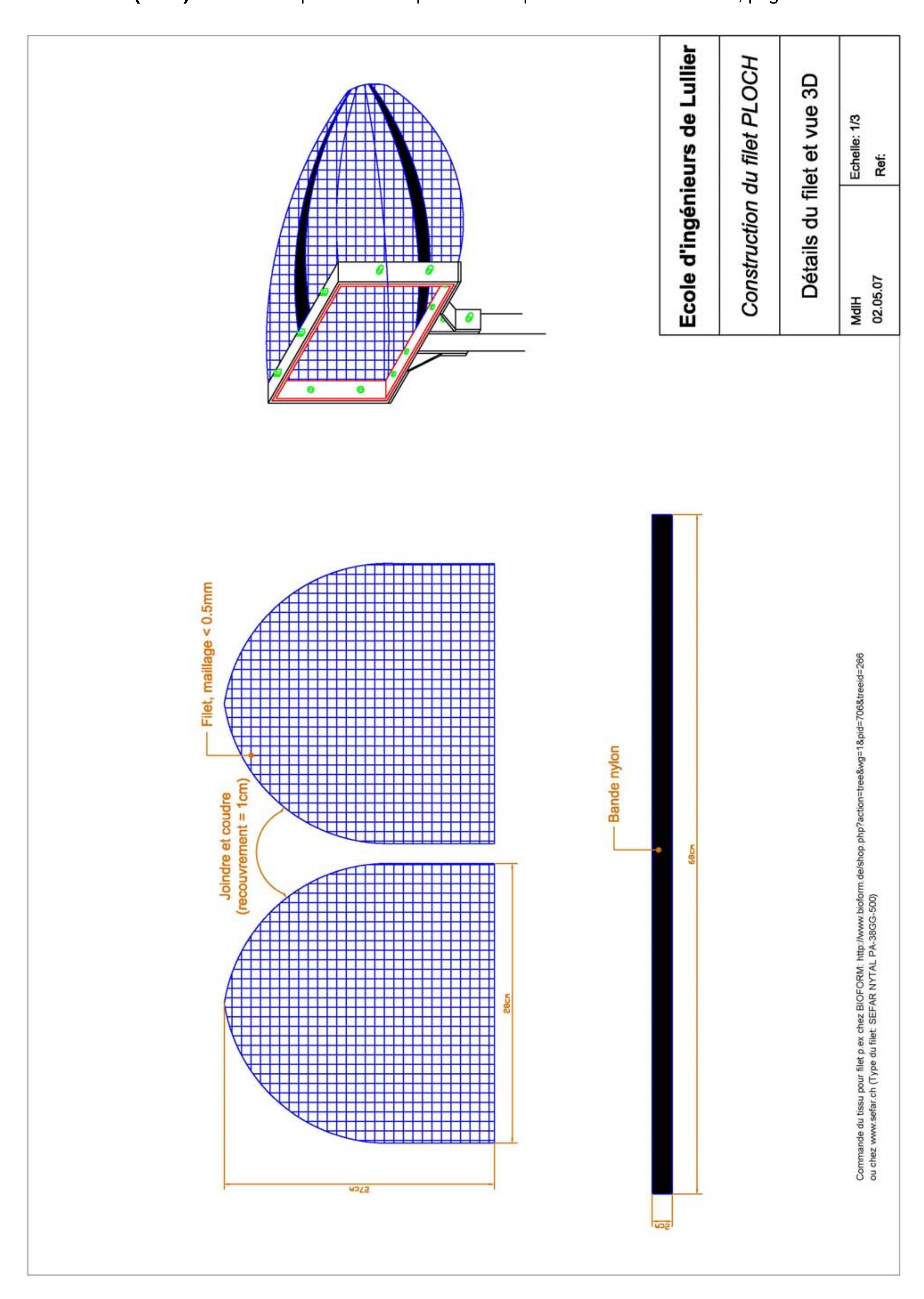
Espèce retenu (pour l'IBEM)	**Synonyme**
Alytes obstetricans	
Bombina variegata	
Bufo bufo	
B. calamita	
B. viridis	
Hyla arborea	
H. intermedia	
Rana dalmatina	
R. esculenta /R. lessonae	
R. latastei	
R. ridibunda	
R. temporaria	
Salamandra atra	
S. salamandra	
Triturus alpestris	*Mesotriton alpestris*
T. carnifex	
T. cristatus	
T. helveticus	*Lissotriton helveticus*
T. vulgaris	*Lissotriton vulgaris*

Annexe 6

Fiche technique du filet de prélèvement pour les macroinvertébrés, page 1



Annexe 6 (suite) Fiche technique du filet de prélèvement pour les macroinvertébrés, page 2



Annexe 7

Méthode IBEM: Fiche de terrain *Variables environnementales*

Nom de l'objet:	
Coordonnées: ……………..…. / ………………	**Date:**
Observateur/trice:	**Photo n° :**
Surface (m^2):	**Altitude du plan d'eau (m):**
Profondeur moyenne:	**Développement rive:**
Ombrage étang:	**Environnement forêt 50m (%):**

- **Profondeur moyenne**
  Calcul de la moyenne des profondeurs relevées dans les quadrats le long des transects de végétation (en excluant les quadrats placés à l'interface eau-terre).
  Unité: cm

  Cas particulier d'un étang ayant des zones d'une profondeur supérieure à 300 cm :
  Si, par définition, aucun quadrat de végétation n'est placé dans les zones où la profondeur dépasse 300 cm, il ne va pas de même pour les mesures de profondeur. En effet, des points de mesure supplémentaires doivent être placés dans ces zones profondes le long des transects, afin de pouvoir correctement évaluer la profondeur moyenne du plan d'eau étudié.

- **Développement des rives**

  $$D = L/(2 * \sqrt{(\pi * S)})$$

  D= développement des rives
  π = 3.1416
  L = longueur des rives (en m)
  S = surface du plan d'eau (en m^2)

- **Ombrage du plan d'eau**
  Projection verticale de l'ombre portée par la végétation ligneuse, relevée sur le terrain et décrit en 4 classes.
  Classe 1: (0%)
  Classe 2: (> 0 - 5%)
  Classe 3: (> 5 - 25%)
  Classe 4: (> 25 - 100%)

- **Environnement forêts 50m (%)**
  Occupation des sols par les forêts dans un rayon de 50m autour de l'étang, exprimée en %.